



Doctoral Thesis

Wechselverformungsverhalten und Versetzungsstrukturen der nahgeordneten Legierung Ni-20at.%Cr

Author(s):

Wolf, Klaus

Publication Date:

1993

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000922271> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

23. Dez. 1993

DISS. ETH Nr. 10333

**Wechselverformungsverhalten und Versetzungsstrukturen
der naheordneten Legierung Ni-20at.%Cr**

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von

Klaus Wolf

Dipl.-Ing. (Universität Karlsruhe TH)

geboren am 22. August 1963

von Deutschland

angenommen auf Antrag von:

Prof. Dr. G. Kostorz, Referent

Prof. Dr. O. Vöhringer, Korreferent

Dr. H. Calderon, Korreferent



22.12.93

Prof. Dr. G. Kostorz

1993

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden das Wechselverformungsverhalten und die nach plastischer Verformung vorliegenden Versetzungsstrukturen an der naheordneten Legierung Ni-20at.%Cr untersucht. Die Untersuchungen erfolgten an Polykristallen unterschiedlicher Korngröße und an Einkristallen der Orientierungen $[\bar{1} 3 10]$ und $[\bar{1} 2 3]$. Es wurde eine definierte Nahordnung (thermodynamisches Gleichgewicht) durch Auslagerung aller Proben für 150 Stunden bei 743 K eingestellt.

Die Untersuchung des zyklischen Verfestigungs- und Sättigungsverhalten wurde mit Ein- und Mehrstufenversuchen bei konstanten plastischen Dehnungsamplituden durchgeführt. Die zyklische Verfestigung bei dieser naheordneten Legierung ist geprägt durch einen sägezahnartigen Verlauf, hervorgerufen durch auftretende Strain Bursts, einem plötzlichen Spannungseinbruch kombiniert mit dem Überschiessen der plastischen Dehnungsamplitude. Die Verformung findet lokalisiert in den durch einen Strain Burst neu aktivierten Gleitebenen statt, während die Aktivität der alten Gleitbänder zurückgeht oder sogar ausstirbt. Für plastische Dehnungsamplituden $\gamma_{pl} < 1,7 \cdot 10^{-3}$ erreicht man eine Sättigungsspannung, die unabhängig von der kumulierten plastischen Dehnung ist, während für höhere plastische Dehnungsamplituden ausgeprägte zyklische Verfestigung beobachtet wird.

Die Einstellung der Sättigungsspannungen bei der Ermüdung von polykristallinem Ni-20at.%Cr zeigt eine starke Korngrößenabhängigkeit. Dies wird dem planaren Gleitverhalten dieser naheordneten Legierung zugeschrieben. Aus der Abhängigkeit der Sättigungsspannungen von der Korngröße lässt sich ein Hall-Petch-Gesetz für die Ermüdung formulieren.

Die auftretenden Strain Bursts zeigen ebenfalls eine Abhängigkeit von der Korngröße. Das Überschiessen der plastischen Dehnungsamplitude steigt mit wachsender Korngröße. So kommt es für 0,3 mm Korngröße zu einem Überschiessen von 15-50% der Dehnungsamplitude und zu einem maximalen Überschiessen der Dehnungsamplitude von 50-200 % für Einkristalle.

Die zyklischen Spannungs-Dehnungskurven der beiden untersuchten Einkristall-Orientierungen sind identisch. Es stellen sich somit für beide Orientierungen gleiche Sättigungsspannungen ein, obwohl Proben der Orientierung $[\bar{1} 3 10]$ eine erhöhte Quergleitaktivität zeigen. Dies bedeutet, dass bei der Ermüdung der planar gleitenden Legierung Ni-20at.%Cr hauptsächlich die Verformung im Primärgleitsystem für die Einstellung der Sättigungsspannung verantwortlich ist. Ausserdem liegt eine gute Übereinstimmung der

zyklischen Spannungs-Dehnungskurven der Polykristalle ($d = 1,6 \text{ mm}$) und der Einkristalle für niedrige plastische Dehnungsamplituden bei Korrektur mit dem Sachs-Faktor vor. Für höhere Dehnungsamplituden ist die Verwendung des Taylor-Faktors auf Grund der häufiger auftretenden Mehrfachgleitung zutreffender.

Die Bestimmung der Reibungs- und Rückspannungen aus den Hystereseschleifen der Ein- und Polykristalle ergibt einen sehr schnellen Anstieg der Rückspannung mit zunehmender plastischer Dehnungsamplitude, während die Reibungsspannung annähernd konstant bleibt. Für plastische Dehnungsamplituden $\gamma_{pl} > 10^{-3}$ beobachtet man einen stetigen Anstieg der Rückspannung und einen konstanten Verlauf der Reibungsspannung über der kumulierten plastischen Dehnung. Dies bedeutet, dass die zyklische Verfestigung von Ni-20at.%Cr hauptsächlich durch den Anstieg der Rückspannung verursacht wird.

Oberflächenbeobachtungen zeigen über den größten Bereich der Lebensdauer bei der Ermüdung von Ni-20at.%Cr planare Gleitung. Beim Auftreten von Strain Bursts treten neue Gleitlinien an der Probenoberfläche aus. Oberflächenbeobachtungen an Polykristallen zeigen ein ähnliches Gleitbandverhalten wie die Einkristalle. Für späte Ermüdungsstadien findet man sowohl an den Ein- wie auch an den Polykristallen charakteristische Eigenschaften, wie sie für gewöhnlich in Materialien mit welliger Gleitung auftreten, z. B. das Austreten von Extrusionen an der Probenoberfläche. Diese Extrusionen treten nur in Rißnähe bzw. in der Nähe von Korngrenzen auf, so dass ein Übergang von planarer zu welliger Gleitung in Ni-20at.%Cr nur unter mehrachsigen Spannungszuständen möglich ist.

Transmissionselektronenmikroskopische Untersuchungen der Versetzungsstrukturen zeigen die für planares Gleiten typischen Aufstauungen von Stufen-, Misch- und Schraubenversetzungen in Ein- und Polykristallen. Typischerweise beobachtet man bei höheren plastischen Dehnungsamplituden eine hohe Anzahl primärer Versetzungsschleifen, und es liegen sehr häufig Versetzungslinien in Zick-Zack-Form parallel zu den Richtungen der Quergleitebenen vor. Die Untersuchungen bestätigen außerdem eine hohe Aktivität von Quergleitung und sekundärer Gleitung. Für späte Ermüdungsstadien zeigt die naheordnete Legierung Ni-20at.%Cr deutliche Unterschiede in den Versetzungsstrukturen. Es kommt zur Bildung von dreidimensionalen Versetzungsanordnungen mit lokaler Quergleitung, wie sie sonst nur in wellig gleitenden Materialien gefunden werden. Diese koexistieren neben weiterhin planaren Versetzungsanordnungen. Auf Grund des hohen Beitrags der Nahordnung im Vergleich zu zusätzlich auftretenden mikrostrukturellen Beiträgen wie z. B. der Mischkristallverfestigung tritt in Ni-20at.%Cr kein globaler Übergang von planarer zu welliger Gleitung auf.

Summary

In the present work, the cyclic stress-strain behavior and the dislocation structure of the short-range ordered alloy Ni-20at.%Cr are investigated for different grain sizes and single crystals of the orientation $[\bar{1} 2 3]$ and $[\bar{1} 3 10]$. A well defined short-range ordered condition (thermodynamical equilibrium) is established by aging the specimens for 150 h at 743 K.

The cyclic hardening and saturation behavior is investigated by means of step and constant plastic strain amplitude tests. Serrated hardening curves can be observed because of the occurrence of strain bursts, i. e., a sudden softening of the alloy, leading to an overstraining of the specimen. For plastic strain amplitudes $\gamma_{pl} < 1,7 \cdot 10^{-3}$ a saturation stress is reached independent of the cumulative plastic strain. A marked cyclic hardening can be observed for higher plastic strain amplitudes.

The saturation stress of polycrystalline Ni-20at.%Cr shows a strong grain-size dependence. This can be attributed to the planar slip characteristics of this short-range ordered alloy. Twin and grain boundaries constitute the main obstacles for dislocation motion. The grain-size dependence of the saturation stresses results in a Hall-Petch relationship for fatigue.

The magnitude of the observed strain bursts increase with the specimen grain size (15-50% plastic strain amplitude for $d = 0.3$ mm) and reaches a maximum for single crystals (50-200% of the plastic strain amplitude).

The cyclic stress-strain curves of the two orientations are identical. In both orientations the same saturation stresses are reached though the orientation $[\bar{1} 3 10]$ shows a higher cross-slip activity. This means, that in this alloy with planar slip, the deformation to reach the saturation stresses is caused mainly by the primary slip system. Good agreement between the cyclic stress-strain curves of polycrystals ($d = 1,6$ mm) and single crystals is found for low strain amplitudes, after correction with the Sachs factor. For higher amplitudes the use of the Taylor factor is more appropriate owing to the higher frequency of multiple slip.

The determination of the friction and back stress behavior of the single crystals and polycrystals shows that the back stress increases gradually as a function of plastic strain amplitude while the friction stress stays nearly constant. In addition, for plastic strain amplitudes $\gamma_{pl} > 10^{-3}$ a gradual increase of the back stress with cumulative plastic strain

amplitude can be observed while the friction stress stays constant. The cyclic hardening of this alloy is mainly caused by the increase of the back stress.

Surface observations show planar slip over most of the fatigue life of this alloy. New slip bands are produced by each strain burst. The activity of the old slip bands is greatly reduced during a strain burst and thus the plastic strain is always carried locally by the new active bands. Surface observations on polycrystals show similar slip band behavior. In the late stages of fatigue life, single crystals and polycrystals show characteristics usually found in materials with wavy slip, e. g., extrusions. In the present case most of the extrusions are seen close to cracks or grain boundaries. This suggests that a transition from planar to wavy slip in Ni-20at.%Cr can only be possible under complicated stress states.

Transmission electron microscope investigation of the dislocation structure shows pile-ups of edge, mixed and screw dislocations in the single crystals and polycrystals, which is typical for materials with planar glide. A high number of primary dislocation loops and also zig-zag dislocation lines parallel to the cross-slip planes can be observed especially for high plastic strain amplitudes. In this case, there is also a higher dislocation activity on the cross-slip and other secondary slip systems. Differences in the dislocation structure can be observed during the late stages of fatigue life in this alloy. With increasing deformation the dislocation pile-ups are progressively substituted by three-dimensional arrays of dislocations which resemble the vein structure in wavy slip materials. These arrays coexist with planar dislocation arrangements. A global transition from planar to wavy slip in Ni-20at.%Cr may not be possible owing to the high contribution of short-range order compared to other contributions, e. g., solid-solution hardening.